



DEUTSCHES  
PATENTAMT

21 Aktenzeichen: 196 27 305.6-31  
22 Anmeldetag: 6. 7. 96  
43 Offenlegungstag: —  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 24. 7. 97

DE 196 27 305 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

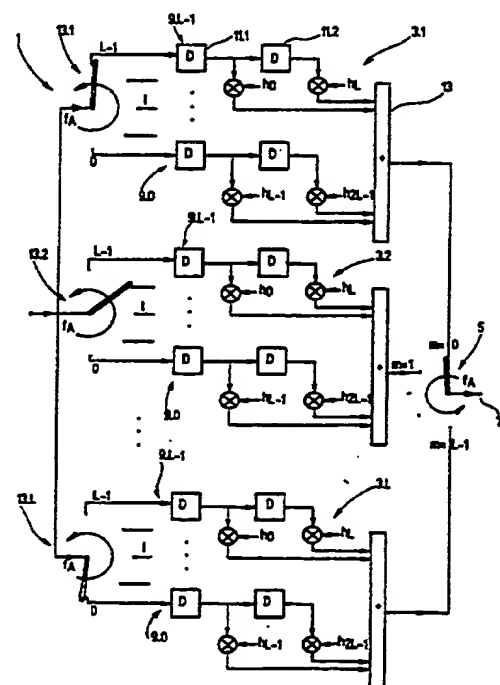
73 Patentinhaber:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

72 Erfinder:  
Goeckler, Heinz, Dr., 71522 Backnang, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:  
PAPOULIS, Athanasios: Signal Analysis, 3rd  
Printing, Auckland, McGraw-Hill Book Company,  
1986, S.191-196 ISBN 0-07-048480-0;

54 Digitalfilter

57 Die Erfindung betrifft ein nichtrekursives Digitalfilter zur Verarbeitung eines Eingangssignals mit der Abtastrate  $f_A$  in ein Ausgangssignal gleicher Abtastrate. Dieses Filter zeichnet sich dadurch aus, daß es eine Anzahl  $L$  an identisch aufgebauten mit dem Takt  $f = f_{A/L}$  arbeitenden Teilfilterstrukturen umfaßt, daß ein Ausgangskommutator (5) vorgesehen ist, der die Ausgangssignale der Teilfilterstrukturen (3) zu einem Ausgangssignal verschachtelt, daß einem Eingang jeder Teilfilterstruktur (3) ein Eingangskommutator (13) zugeordnet ist, der das Eingangssignal mit einer Rate von  $f_A$  jeweils einem von  $L$  Filterzweigen (9) einer Teilfilterstruktur (3) zuführt, wobei jeder Filterzweig ein Transversalfilter mit einem spezifischen Teilsatz von Filterkoeffizienten ( $h_0, h_1, h_2, \dots; h_1, h_{L+1}, h_{2L+1}, \dots$ ) ist, wobei die Eingangskommutatoren (13) so betrieben sind, daß mit jeweils einer fortschreitenden Schalterstellung des Ausgangskommutators (5) der jeweilige Eingangskommutator dem vorhergehenden Eingangskommutator um eine Schalterstellung nachsteilt.



DE 196 27 305 C 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Digitalfilter zur Verarbeitung eines Eingangssignals mit der Abtastrate  $f_A$  in ein Ausgangssignal gleicher Abtastrate.

## Stand der Technik

Digitalfilter der genannten Art sind grundsätzlich bekannt. Sie umfassen Multiplizierer, Addierer und Verzögerungsglieder, die mit der Abtastrate  $f_A$  getaktet sind. Im Bereich der digitalen Rundfunk- beziehungsweise Fernsehübertragung werden zukünftig Signale mit einer Bandbreite von bis zu 250 MHz bei 32 Kanälen mit einer jeweiligen Bandbreite von 7 MHz benötigt. Eine solche Bandbreite erfordert mindestens eine Abtastrate von  $f_A = 500$  MHz.

Diese hohen Abtastraten erfordern Bauteile, die mit einer entsprechenden Geschwindigkeit arbeiten können. Diese sind entweder im Moment nicht verfügbar oder sehr teuer.

## Vorteile der Erfindung

Das Digitalfilter mit den Merkmalen des Anspruchs 1 beziehungsweise des Anspruchs 7 hat demgegenüber den Vorteil, daß mit Hilfe einer Parallelisierung eine Taktratenvermindung um das  $L$ -fache, je nach dem Grad der Parallelisierung, erreichbar ist. Beispielsweise umfaßt das Digitalfilter zehn Teilfilterstrukturen, so daß die Taktrate, mit der die Bauelemente betrieben werden,  $1/10$  der Abtastrate des Eingangssignals ist. Damit lassen sich Bauelemente einsetzen, die mit einem Takt von 50 MHz arbeiten. Dies ist mit kostengünstigen CMOS-Bauelementen möglich.

Vorzugsweise sind die Zweige einer Teilfilterstruktur als Transversalfilter ausgebildet. Das  $L$ -fach zu parallelisierende Filter habe die Koeffizienten  $h(n)$ ,  $n = 0, 1, \dots, N$ . Die Filterkoeffizienten des  $l$ -ten Zweigs einer Teilfilterstruktur sind dann die  $K$ -Werte mit folgenden Indizes  $(L-1-1)$ ,  $h(2L-1-1)$ ,  $h(3L-1-1)$ ,  $\dots$ , solange fortgesetzt, bis alle  $N+1$  Koeffizienten einem Zweigfilter zugeordnet sind;  $l = 0 \dots L-1$ .

Zur Aufwandsminimierung arbeiten die Eingangskommutatoren gleichphasig, wobei die Filterkoeffizienten der entsprechenden Zweige der Teilfilterstrukturen permutiert sind.

Eine weitere Aufwandsminimierung ist dadurch möglich, daß die  $L$  Eingangskommutatoren, die gleichphasig arbeiten, durch einen einzelnen Eingangskommutator ersetzt werden.

Eine Aufwandseinsparung, insbesondere von Verzögerungsgliedern ist durch das Zusammenfassen von Zweigen der Teilfilterstrukturen erreichbar. Hierbei werden die zur gleichen Zeit mit einem Eingangssignal gespeisten Verzögerungsketten der Teilfilterstrukturen zusammengefaßt zu einer einzigen Verzögerungskette.

Eine aufwandsgünstige Realisierung ist insbesondere dann möglich, wenn das Digitalfilter als Halbbandfilter gewählt wird, wobei vorzugsweise eine gerade Anzahl  $L$  an Teilfilterstrukturen vorgesehen ist.

Weitere Vorteile und Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den übrigen Unteransprüchen.

## Zeichnungen

Die Erfindung wird nun anhand von Ausführungsbeispielen mit Bezug auf die Zeichnungen näher erläutert.

Dabei zeigen:

Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel eines parallelisierten nichtrekursiven Digitalfilters;

Fig. 2 ein zweites Ausführungsbeispiel eines parallelisierten Digitalfilters;

Fig. 3 ein drittes Ausführungsbeispiel eines parallelisierten Digitalfilters;

Fig. 4 ein viertes Ausführungsbeispiel eines parallelisierten Digitalfilters;

Fig. 5 eine Teilfilterstruktur eines parallelisierten Digitalfilters;

Fig. 6 eine weitere Ausführungsform einer Teilfilterstruktur;

Fig. 7 eine dritte Ausführungsform einer Teilfilterstruktur und

Fig. 8 eine vierte Ausführungsform einer Teilfilterstruktur.

## Ausführungsbeispiele

In Fig. 1 ist ein nicht rekursives Digitalfilter 1 gezeigt, das ein Eingangssignal mit der Abtastrate  $f_A$  umformt in ein Ausgangssignal mit einer Abtastrate von ebenfalls  $f_A$ . Das Digitalfilter 1 weist eine Anzahl  $L$  identisch aufgebauter Teilfilterstrukturen 3 auf, deren Ausgangssignale den einzelnen Eingängen eines Ausgangskommutators 5 zugeführt werden.

Der Ausgangskommutator 5 wird mit der Frequenz  $f_A$  betrieben und legt die Ausgangssignale der einzelnen Teilfilterstrukturen der Reihe nach an einen Ausgang 7. Das heißt, daß zunächst das Ausgangssignal der Teilfilterstruktur 3.1, dann das Ausgangssignal der Teilfilterstruktur 3.2 usw. bis zum Ausgangssignal der Teilfilterstruktur 3. $L$  an den Ausgang 7 gelegt wird, wobei anschließend wieder eine Verbindung zwischen dem Ausgang und der Teilfilterstruktur 3.1 hergestellt wird.

Deutlich zu erkennen ist in Fig. 1 der identische Aufbau der Teilfilterstrukturen 3. Jede weist eine Anzahl von  $L$  Filterzweigen 9 auf, die ihrerseits aus jeweils zwei Verzögerungsgliedern 11 aufgebaut sind. Dies gilt genau für die beispielhaft erwähnte Filterlänge  $N+1=2L$  (Filtergrad  $N=2L-2$ ). Der Aufbau entspricht dabei demjenigen eines Transversalfilters. Dabei ist das jeweils erste Verzögerungsglied einer jeden Verzögerungskette nur für die technische Realisierbarkeit erforderlich. Allgemein kann ein Zweigfilter einer Teilstruktur höchstens  $\frac{N+1}{L}$  Koeffizienten und ebenso viele Verzögerungsglieder umfassen, wenn man das realisierungsbedingte Verzögerungsglied vor dem jeweils ersten Koeffizienten hinzunimmt (Erläuterung:  $\lceil x \rceil$  ist die nächstgrößte ganze Zahl zu  $x$ ; zum Beispiel

$$N+1=2, \quad L=10: \quad \left\lceil \frac{20}{10} \right\rceil = 2.$$

Das Ausgangssignal des ersten Verzögerungsglieds 11.1 des  $l$ -ten Filterzweigs 9 wird, bewertet mit einem Filterkoeffizienten  $h(L-1-1)$ , einem Addierer 13 zugeführt. Das Ausgangssignal des zweiten Verzögerungsglieds 11.2 des  $l$ -ten Filterzweigs wird ebenfalls bewertet mit einem zweiten Filterkoeffizienten  $h(2L-1-1)$  an den Addierer 13, dessen Ausgangssignal das Ausgangssignal der Teilfilterstruktur ist, übertragen, usw.

Somit ergibt sich für jeden Filterzweig 9 ein Filterkoeffizientenpaar, das die Koeffizienten  $h_0$  und  $h_L$  im Zweig 9. $L-1$  aufweist.

Die Filterkoeffizienten des  $l$ -ten Zweigs einer Teilfilterstruktur 3 sind dann die  $k$ -Werte mit folgenden Indizes:  $h(L-l-1)$ ,  $h(2L-l-1)$ ,  $h(3L-l-1)$ , ..., solange fortgesetzt, bis alle  $(N+1)$  Koeffizienten einem Zweigfilter zugeordnet sind ( $l=0 \dots L-1$ ).

Entsprechend sind auch die weiteren Teilfilterstrukturen 3.2 bis 3.L aufgebaut.

Jeder Teilfilterstruktur 3 ist ein Eingangskommutator 13 zugeordnet, der über einen durch das Eingangssignal gespeisten Eingang verfügt und über eine Anzahl von  $L$  Ausgängen. Jeder Ausgang eines Eingangskommutators 13 ist dabei mit dem Eingang eines Filterzweigs 9 verbunden. So ist beispielsweise der mit 0 gekennzeichnete Ausgang des Eingangskommutators 13.1 mit dem Filterzweig 9.0 und der mit  $L-1$  gekennzeichnete Ausgang mit dem Filterzweig 9.L-1 verbunden.

Jeder Eingangskommutator 13 wird mit einer Frequenz  $f_A$  betrieben, so daß sie zusammen mit dem Ausgangskommutator 5 synchron laufen. Der Schaltwechsel der Eingangskommutatoren erfolgt von der Schaltstellung 0 in die Schaltstellung 1 usw. und dann zurück zur Schaltstellung 0. Somit wird beispielsweise der Filterzweig 9.0 mit dem 0-ten,  $L$ -ten,  $2L$ -ten etc. Abtastwert des Eingangssignals beaufschlagt.

In Fig. 1 ist deutlich zu erkennen, daß die Eingangskommutatoren 13 nicht in derselben Schaltstellung (Schaltphase) stehen. So eilt der Kommutator 13.2 dem oberen Kommutator 13.1 um eine Schaltstellung hinterher. Gleiches gilt für den folgenden Kommutator (nicht gezeigt) bis zum Kommutator 13.L, der dann  $L-1$ -Schaltstellungen gegenüber dem Kommutator 13.1 hinterher eilt.

Mit Hilfe dieser Parallelisierung ist es möglich, ein Eingangssignal der Abtastrate  $f_A$  entsprechend zu verarbeiten, wobei jedoch die Verzögerungsglieder, Multiplizierer und Addierer nur mit dem  $L$ -ten Teil der Abtastrate betrieben werden müssen.

In Fig. 2 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel dargestellt, das im wesentlichen dem in Fig. 1 gezeigten entspricht. Aus diesem Grund wird auf eine nochmalige Beschreibung der mit den gleichen Bezugszeichen gekennzeichneten Elemente verzichtet.

Als aufwandsminimierende Maßnahme sind in diesem Ausführungsbeispiel die Eingangskommutatoren 13 gleichphasig geschaltet, das heißt, daß sich alle Eingangskommutatoren in der gleichen Schaltstellung befinden. Dafür sind jedoch gegenüber dem ersten Ausführungsbeispiel die einzelnen Filterzweige der Teilfilterstrukturen vertauscht angeordnet.

Ein Ausgleich dieser Verschaltung der Eingangskommutatoren wird dadurch bewirkt, daß die Filterkoeffizientenpaare der Teilfilterstrukturen 3 permutiert sind. Darunter ist zu verstehen, daß die Filterkoeffizienten  $h_0$  und  $h_L$ , die in der Teilfilterstruktur 3.1 im Zweig 9.L-1 liegen, in der nächsten Teilfilterstruktur 3.2 nunmehr im Filterzweig 9.0 liegen. Gleichzeitig sind in dieser Teilfilterstruktur die übrigen Filterkoeffizienten in den jeweils nächsthöheren Filterzweig gewandert, so daß im Filterzweig 9.L-1 die Filterkoeffizienten  $h_1$  und  $h_{L+1}$  liegen. Diese "Rotation" der Filterkoeffizientenpaare findet von einer Teilfilterstruktur zur nächsten statt, so daß im Filterzweig 9.0 der Teilfilterstruktur 3.L die Koeffizienten  $h_{L-2}$  und  $h_{2L-2}$  liegen und im Filterzweig 9.L-1 die Filterkoeffizienten  $h_{L-1}$  und  $h_{2L-1}$ .

Eine weitere deutliche Aufwandsminimierung ist mit dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 zu erreichen. So werden im Vergleich zu der vorhergehenden Ausführungsform die Eingangskommutatoren 13.1 bis 13.L er-

setzt durch einen gemeinsamen Eingangskommutator 13. Zur Versorgung der Teilfilterstrukturen 3.2 bis 3.L ist jeder Ausgang des Eingangskommutators 13 jeweils mit einem Filterzweig einer Teilfilterstruktur verbunden. So ist beispielsweise die Schaltstellung  $L-1$  mit den Filterzweigen 9.L-1 der Teilfilterstrukturen 3.1 bis 3.L verbunden, die Schaltstellung  $L-2$  mit den Filterzweigen 9.L-2, usw. bis zu der Schaltstellung 0, die mit den Filterzweigen 9.0 verbunden ist. Auf diese Weise läßt sich eine Anzahl von  $L-1$  Eingangskommutatoren einsparen. Ansonsten entspricht der Aufbau dieses Digitalfilters 1 dem in Fig. 2 gezeigten.

In Fig. 4 ist ein weiteres Ausführungsbeispiel dargestellt. Gegenüber den vorhergehenden Ausführungsbeispielen ist auch hier eine weitere Aufwandsminimierung erreicht, die insbesondere in der Einsparung von Verzögerungsgliedern 11 zu sehen ist.

Jedem Ausgang des Eingangskommutators 13 ist eine Kette 21 von Verzögerungsgliedern 11 zugeordnet. Abhängig vom Parallelisierungsgrad  $L$  verfügt jede Verzögerungskette 21 über eine Anzahl von  $\lceil \frac{N+1}{L} \rceil$  Ver-

zögerungsgliedern, wie zuvor für Fig. 1 ausgeführt. Darüber hinaus ist in Fig. 4 zu erkennen, daß jeder Eingangsschaltstellung des Ausgangskommutators 5 eine Anzahl von  $L$  Addierern 23 zugeordnet ist, deren Ausgangssignale als Summensignal dem jeweiligen Eingangsanschluß des Kommutators 5 zugeführt sind. Als Eingangssignale erhält beispielsweise der Addierer 23.0 die mit den Filterkoeffizienten  $h_0$  bis  $h_{L-1}$  bewerteten Ausgangssignale der jeweils ersten Verzögerungsglieder 11.1 der Verzögerungsketten 21. Das heißt, daß das Ausgangssignal des Verzögerungsglieds 11.1 der Verzögerungskette 21.0 mit dem Koeffizienten  $h_{L-1}$  bewertet, das Ausgangssignal des ersten Verzögerungsglieds der nächsten Verzögerungskette 21.1 mit dem Koeffizienten  $h_{L-2}$ , usw. und das Ausgangssignal des ersten Verzögerungsglieds 11.1 der Verzögerungskette 21.L-1 mit dem Filterkoeffizienten  $h_0$  bewertet wird.

Dem nächsten Addierer 23.1 werden ebenfalls Ausgangssignale der ersten Verzögerungsglieder 11.1 zugeführt, wobei die Filterkoeffizienten wechseln, wobei dann der Verzögerungskette 21.0 der Filterkoeffizient  $h_0$ , der Verzögerungskette 21.1 der Koeffizient  $h_1$  usw. und der Verzögerungskette 21.L-1 der Koeffizient  $h_L$  zugeordnet ist. Bezüglich der nächsten Addierer 23.2, ... werden die Filterkoeffizienten weiter gewechselt, so daß bezüglich des Addierers 23.L-1 der ersten Verzögerungskette der Filterkoeffizient  $h_{L-2}$ , der weiteren Verzögerungskette 21.1 der Koeffizient  $h_{L-3}$ , usw. und der Verzögerungskette 21.L-1 der Koeffizient  $h_{L-1}$  zugeordnet ist.

Die Verarbeitung der Ausgangssignale der nachfolgenden Verzögerungsglieder 11.2 der Verzögerungsketten 21 erfolgt in gleicher Weise, wobei jedoch statt der Filterkoeffizienten  $h_0$  bis  $h_{L-1}$  die Filterkoeffizienten  $h_L$  bis  $h_{2L-1}$  Verwendung finden.

Wie bereits erwähnt, werden die Ausgangssignale der einer Eingangsschaltstellung des Ausgangskommutators 5 zugeordneten Addierer zusammenaddiert, das heißt der Addierer 23.0, 23.L, 23.2L, beziehungsweise  $23.1, 23.L+1, 23.2L+1$  usw.

Dieser Aufbau des Digitalfilters 1 benötigt nunmehr nur noch so viele Verzögerungsglieder 11 wie eine der  $L$  Teilfilterstrukturen der vorgenannten Ausführungsbeispiele aufweist. Das heißt, daß die Zahl der Verzögerungsglieder um den Faktor  $L$  vermindert wurde.

In Fig. 5 ist eine Teilfilterstruktur für den Fall  $L=3$

beispielhaft für  $N+1=5$  (Filterlänge) dargestellt, die aufwandsgünstiger ist als die zuvor gezeigten Teilfilterstrukturen. Diese Aufwandsminimierung ist in jenen Fällen möglich, in denen die Impulsantwort des Transversal-Filters symmetrisch ist. Damit läßt sich die Koeffizientensymmetrie in der in Fig. 5 gezeigten Weise nutzen, wobei die mit den Filterkoeffizienten  $h_1$  und  $h_3=h_1$  sowie die mit den Filterkoeffizienten  $h_0$  und  $h_4=h_0$  zu bewertenden Zustandsgrößen jeweils vor der Multiplikation zusammengefaßt sind.

Diese Symmetrie kann gegebenenfalls in den Strukturen gemäß Fig. 1 bis 4 genutzt werden.

In Fig. 6 ist eine weitere Ausführungsform einer Teilfilterstruktur dargestellt, wobei das Filter als transponiertes Filter realisiert ist. Obgleich eine Koeffizientensymmetrie in dieser transponierten Struktur nicht nutzbar ist, weist sie inhärent Pipeline-Eigenschaften auf, die der Realisierung schneller Digitalfilter entgegenkommen, indem ansonsten zusätzlich erforderliche Pipeline-Register hier nicht benötigt werden.

Unter teilweiser Aufgabe der Pipeline-Eigenschaften lassen sich, wie in Fig. 7 dargestellt, Verzögerungsglieder einsparen, in dem die  $L$  Verzögerungsketten des Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 6 zu einer Verzögerungskette zusammengefaßt werden.

Sofern es sich bei dem zu realisierenden Digitalfilter 1 um ein Halbband-Filter handelt, läßt sich eine besonders aufwandsgünstige Realisierung durchführen, wenn der Wert  $L$  geradzahlig gewählt wird. In diesem Fall sind alle Koeffizienten jeder zweiten Schaltstellung des Eingangskommutators identisch 0, so daß für diesen Filterzweig sämtliche Verzögerungsglieder und Multiplizierer entfallen können. Das heißt, daß der jeweilige Eingangskommutatorabgriff kein Signal abgibt. Eine entsprechende Aufwandsverminderung läßt sich für alle zuvor genannten Ausführungsbeispiele realisieren.

Fig. 8 zeigt anhand eines Beispiels für  $L=4$ ,  $N$  (Filtergrad)=14 den Aufbau einer Teilfilterstruktur. Deutlich zu erkennen ist, daß die Filterkoeffizienten  $h_6$  und  $h_2$  aufgrund ihres Wertes 0 weggelassen sind. Für sie existiert kein Filterzweig (Zweig 3); der Koeffizient  $h_4=0$  ist Zweig 1 zugeordnet und erscheint wegen seines Werts nicht als Multiplizierer.

Handelt es sich bei dem Digitalfilter gemäß Fig. 2, 3 oder 4 um ein Halbband-Filter, erfolgt die Permutation der Koeffizienten stets filterzweigweise, das heißt die Filterzweige der Teilfilterstrukturen werden je nach Teilphase einer jeweiligen anderen Position des Eingangskommutators zugeordnet. Dadurch kann die Halbband-Filtereigenschaft in allen genannten Fällen voll zur Aufwandsverminderung genutzt werden.

Selbstverständlich läßt sich dieser Aufwandsvorteil ebenfalls bei M-Bandfiltern erzielen, und zwar dann, wenn  $L=k \cdot M$  geradzahlig ist.

Neben den bisher gezeigten Ausführungsformen läßt sich die angegebene Parallelisierung ganz allgemein auch auf beliebige nichtrekursive Filter, beliebige nichtrekursive Systeme mit mehreren Ein- und Ausgängen oder auch auf aus mindestens zwei Teilsystemen (Filter, MIMO, Mischer/Modulator) zusammengesetzte Systeme anwenden.

Bei der entsprechenden Parallelisierung wird das mit Bezug auf die vorhergehenden Ausführungsbeispiele beschriebene Parallelisierungsverfahren auf alle vorhandenen Teilsysteme angewendet. Ein Teilsystem kann dabei beispielsweise nur aus einem Verzögerungsglied oder einem Multiplizierer bestehen.

Für die weitere Parallelisierung wird jedoch voraus-

gesetzt, daß alle Teilsysteme mit demselben Faktor  $L$  parallelisiert werden. Daraus ergibt sich dann, daß an allen Schnittstellen zwischen allen beziehungsweise je zwei Teilsystemen jeweils ein Eingangskommutator ( $L$ -facher Demultiplexer) und ein Ausgangskommutator ( $L$ -facher Multiplexer) aufeinander treffen. Sie sind mit einer einfachen Verbindung zusammengeschaltet, wobei die Positionen der Kommutatoren synchron weitergeschaltet werden. Die Zuordnung der jeweiligen Kommutatorphase, das heißt der Kommutatorschaltstellung zum jeweiligen Teilsystem ist durch die konkrete Verschaltung der Kommutatoren mit den jeweils zugehörigen Teilsystemen eindeutig festgelegt.

Als weitere Vereinfachung lassen sich dann die miteinander verbundenen Kommutatoren entfernen, in dem man an den Schnittstellen die Teilsysteme  $L$ -fach entsprechend den eindeutigen synchronen Positionen der kaskadierten Ausgangskommutatoren/Eingangskommutatoren eineindeutig miteinander verbindet.

Als Vorteil ergibt sich — wie bereits erwähnt —, daß die Teilsysteme und damit auch das resultierende Gesamtsystem mit einem  $L$ -fach verminderten Takt betreibbar sind.

Es entsteht somit ein System, das an allen Eingängen mit Eingangskommutatoren ausgestattet ist und das an allen Ausgängen Ausgangskommutatoren aufweist, wobei alle Eingangs- und Ausgangskommutatoren synchron betrieben werden. Alle internen Eingangs- und Ausgangskommutatoren sind entfernt, so daß das aus Teilsystemen zusammengesetzte System als Gesamtsystem parallelisiert, also ver- $L$ -facht, ist und die Eingangs- und Ausgangskommutatoren ausschließlich an den Schnittstellen nach außen erscheinen.

#### Patentansprüche

1. Nichtrekursives Digitalfilter zur Verarbeitung eines Eingangssignals mit der Abtastrate  $f=f_A$  in ein Ausgangssignal gleicher Abtastrate, dadurch gekennzeichnet, daß das Digitalfilter eine Anzahl  $L$  an identisch aufgebauten mit dem Takt  $f=f_A/L$  arbeitenden Teilfilterstrukturen umfaßt, daß ein Ausgangskommutator (5) vorgesehen ist, der die Ausgangssignale der Teilfilterstrukturen (3) zu einem Ausgangssignal verschachtelt, daß einem Eingang jeder Teilfilterstruktur (3) ein Eingangskommutator (13) zugeordnet ist, der das Eingangssignal mit einer Rate von  $f_A$  jeweils einem von  $L$  Filterzweigen (9) einer Teilfilterstruktur (3) zuführt, wobei jeder Filterzweig ein Transversalfilter mit einem spezifischen Teilsatz von Filterkoeffizienten ( $h_0, h_L, h_{2L}, \dots; h_1, h_{L+1}; h_{2L+1}; \dots$ ) ist, wobei die Eingangskommutatoren (13) so betrieben sind, daß mit jeweils einer fortschreitenden Schalterstellung des Ausgangskommutators (5) der jeweilige Eingangskommutator dem vorhergehenden Eingangskommutator um eine Schalterstellung nacheilt (Fig. 1)

2. Digitalfilter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß jeder Filterzweig einer Teilfilterstruktur (3) ein Transversalfilter mit den Filterkoeffizienten  $h_{L-1-l}, h_{2L-l}, h_{3L-l}, \dots$  ist, wobei  $l$  die Nummer der Eingangskommutatoren angibt.

3. Digitalfilter nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Zweigfilter einer Teilfilterstruktur höchstens  $\lceil \frac{N+1}{L} \rceil$  Koeffizienten aufweist.

4. Digitalfilter nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Zweigfilter eine Teilfilterstruktur höchstens  $\lceil \frac{N+1}{L} \rceil$  Verzögerungsglieder aufweist, wobei N : Filtergrad (N + 1 : Filterlänge) des Transversalfilters ist. 5
5. Digitalfilter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Eingangskommutatoren (13) gleichphasig arbeiten, und daß die Filterkoeffizienten der entsprechenden Filterzweige (9) der Teilfilterstrukturen (3) permutiert sind. (Fig. 2) 10
6. Digitalfilter nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Eingangskommutatoren (13) zusammengefaßt sind zu einem Eingangskommutator, der mit den entsprechenden permutierten Filterzweigen der Teilfilterstrukturen (3) verbunden ist. (Fig. 3) 15
7. Digitalfilter nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Verzögerungsketten der miteinander verbundenen Filterzweige der Teilfilterstrukturen (3) jeweils zu einer Verzögerungskette zusammengefaßt sind. (Fig. 4) 20
8. Digitalfilter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilfilterstrukturen (3) linearphasige FIR-Transversalfilter sind. 25
9. Digitalfilter nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Symmetrie der Koeffizienten genutzt wird. 30
10. Nichtrekursives Digitalfilter zur Verarbeitung eines Eingangssignals mit der Abtastrate  $f = f_A$  in ein Ausgangssignal gleicher Abtastrate, dadurch gekennzeichnet, daß das Digitalfilter eine Anzahl L an identisch aufgebauten mit dem Takt  $f = f_A/L$  arbeitenden Teilfilterstrukturen umfaßt, daß ein Ausgangskommutator (5) vorgesehen ist, der die Ausgangssignale der Teilfilterstrukturen (3) zu einem Ausgangssignal verschachtelt, daß einem Eingang jeder Teilfilterstruktur (3) ein Eingangskommutator (13) zugeordnet ist, der das Eingangssignal mit einer Rate von  $f_A$  jeweils einem von L Filterzweigen (9) einer Teilfilterstruktur (3) zuführt, wobei jeder Zweig als transponiertes Transversalfilter mit einem spezifischen Teilsatz von Filterkoeffizienten ( $h_0, h_L, h_{2L}, \dots; h_1, h_{L+1}; h_{2L+1}, \dots$ ) ausgebildet ist, wobei die Eingangskommutatoren (13) so betrieben sind, daß mit jeweils einer fortschreitenden Schalterstellung des Ausgangskommutators (5) der jeweilige Eingangskommutator dem vorhergehenden Eingangskommutator um eine Schalterstellung nachsteilt. (Fig. 6) 40
11. Digitalfilter nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Zweigfilter einer Teilfilterstruktur höchstens  $\lceil \frac{N+1}{L} \rceil$  Koeffizienten aufweist. 45
12. Digitalfilter nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß jedes Zweigfilter eine Teilfilterstruktur höchstens  $\lceil \frac{N+1}{L} \rceil$  Verzögerungsglieder aufweist, wobei N : Filtergrad (N + 1 : Filterlänge) des Transversalfilters ist. 50
13. Digitalfilter nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Eingangskommutatoren (13) gleichphasig arbeiten, und daß die Filterkoeffizienten der entsprechenden Filterzweige (9) der Teilfilterstrukturen (3) permutiert sind. 55
14. Digitalfilter nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Eingangskommutatoren (13) zusammengefaßt sind zu einem Eingangskommutator, der mit den entsprechenden permutierten Filterzweigen der Teilfilterstrukturen (3) verbunden ist. 60

zeichnet, daß die Eingangskommutatoren (13) zusammengefaßt sind zu einem Eingangskommutator, der mit den entsprechenden permutierten Filterzweigen der Teilfilterstrukturen (3) verbunden ist.

15. Digitalfilter nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Digitalfilter ein Halbband-Filter ist, wobei eine gerade Anzahl L an Teilfilterstrukturen (3) vorgesehen ist.

16. Digitalfilter nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die L Filterzweige einer Teilfilterstruktur zu einem Filterzweig unter gemeinsamer Nutzung von Verzögerungsgliedern zusammengefaßt sind. (Fig. 7)

17. Digitales System bestehend aus mindestens zwei Teilsystemen (digitale Filter, Mischer etc.), wobei jedes Teilsystem entsprechend einem der vorhergehenden Ansprüche in jeweils L Teilstrukturen parallelisiert ist und alle Kommutatoren synchron betrieben werden, dadurch gekennzeichnet, daß miteinander verbundene Ausgangskommutatoren und Eingangskommutatoren im Innern des Gesamtsystems eliminiert und durch Festverschaltung ersetzt sind.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

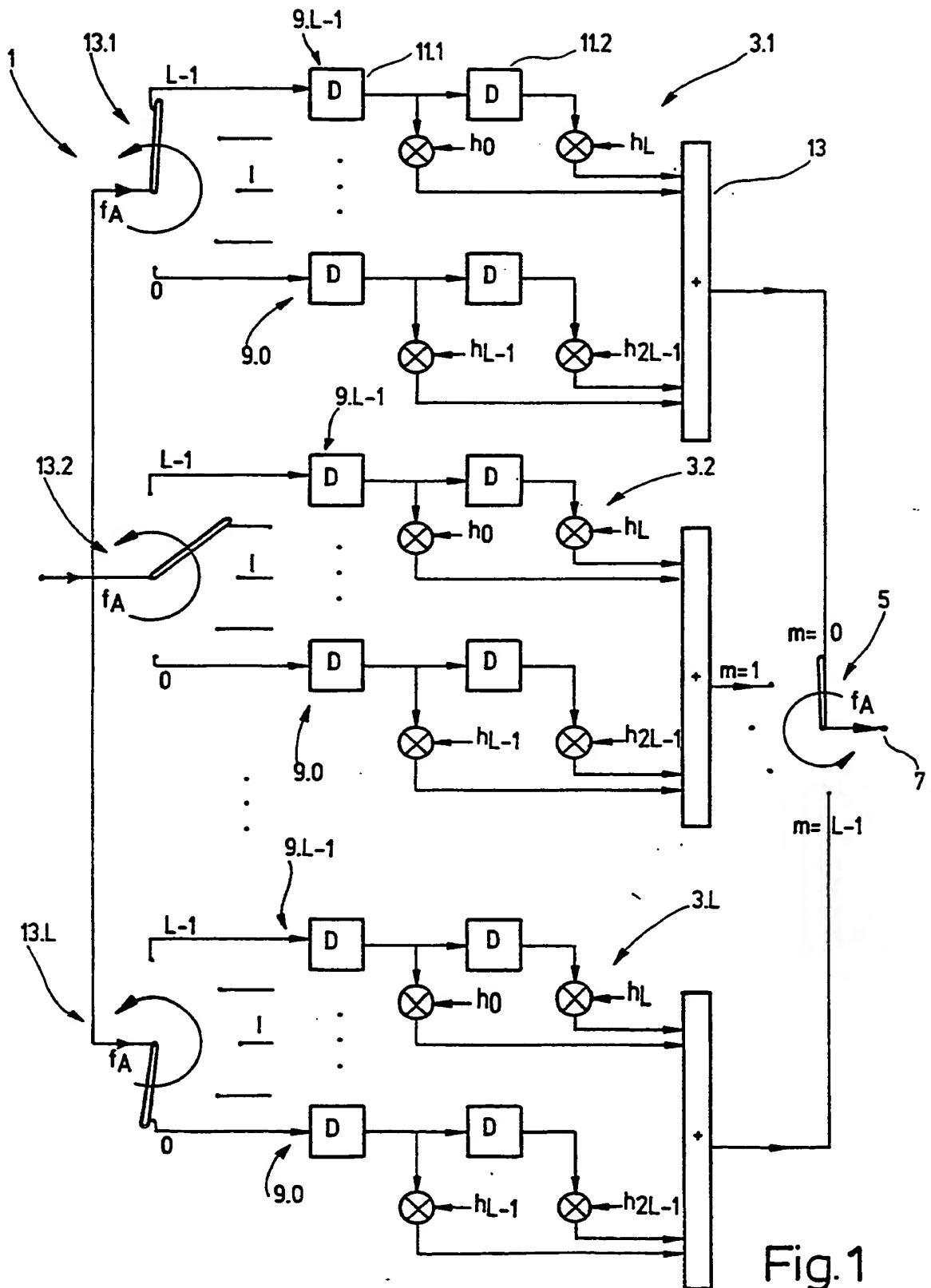


Fig.1

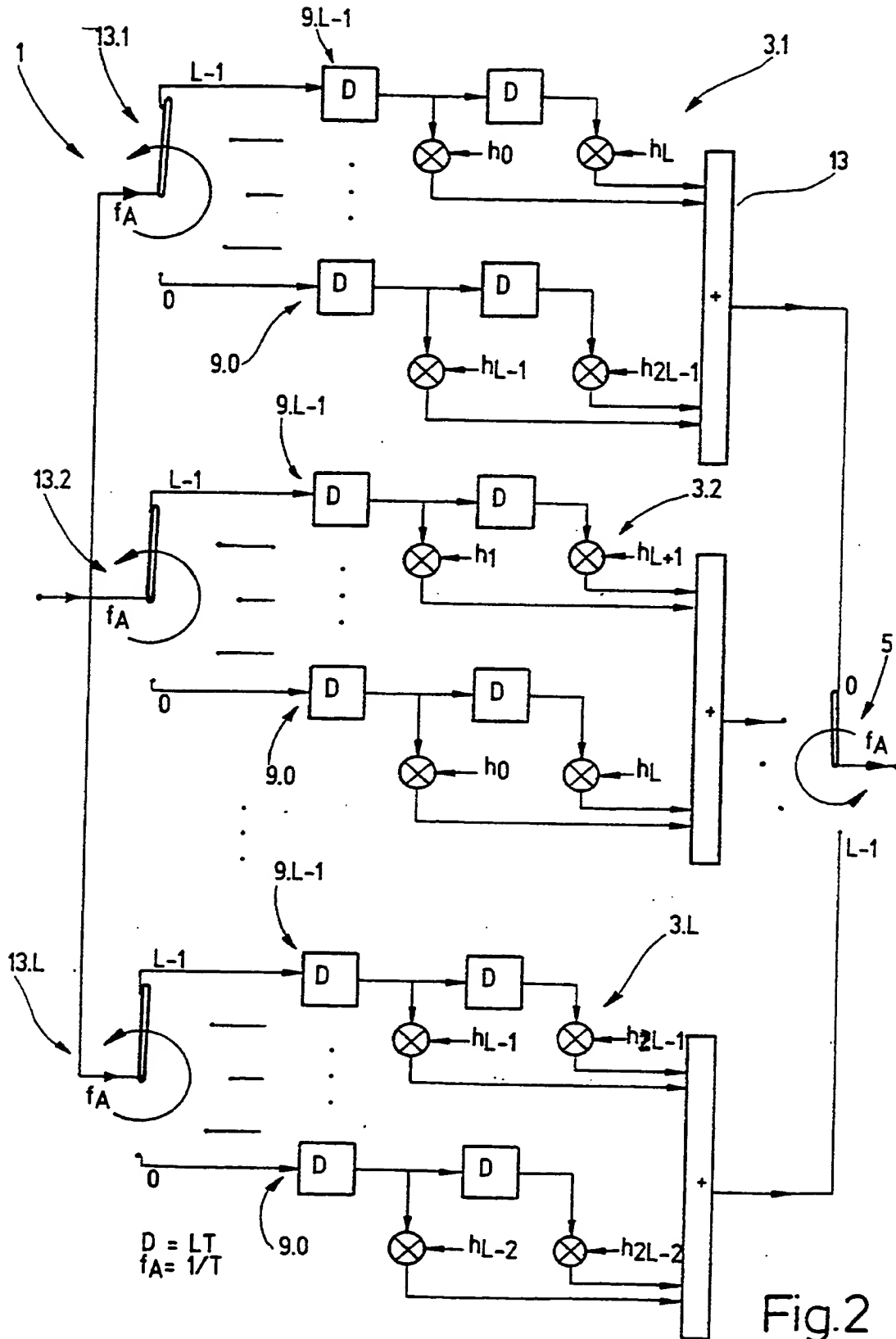
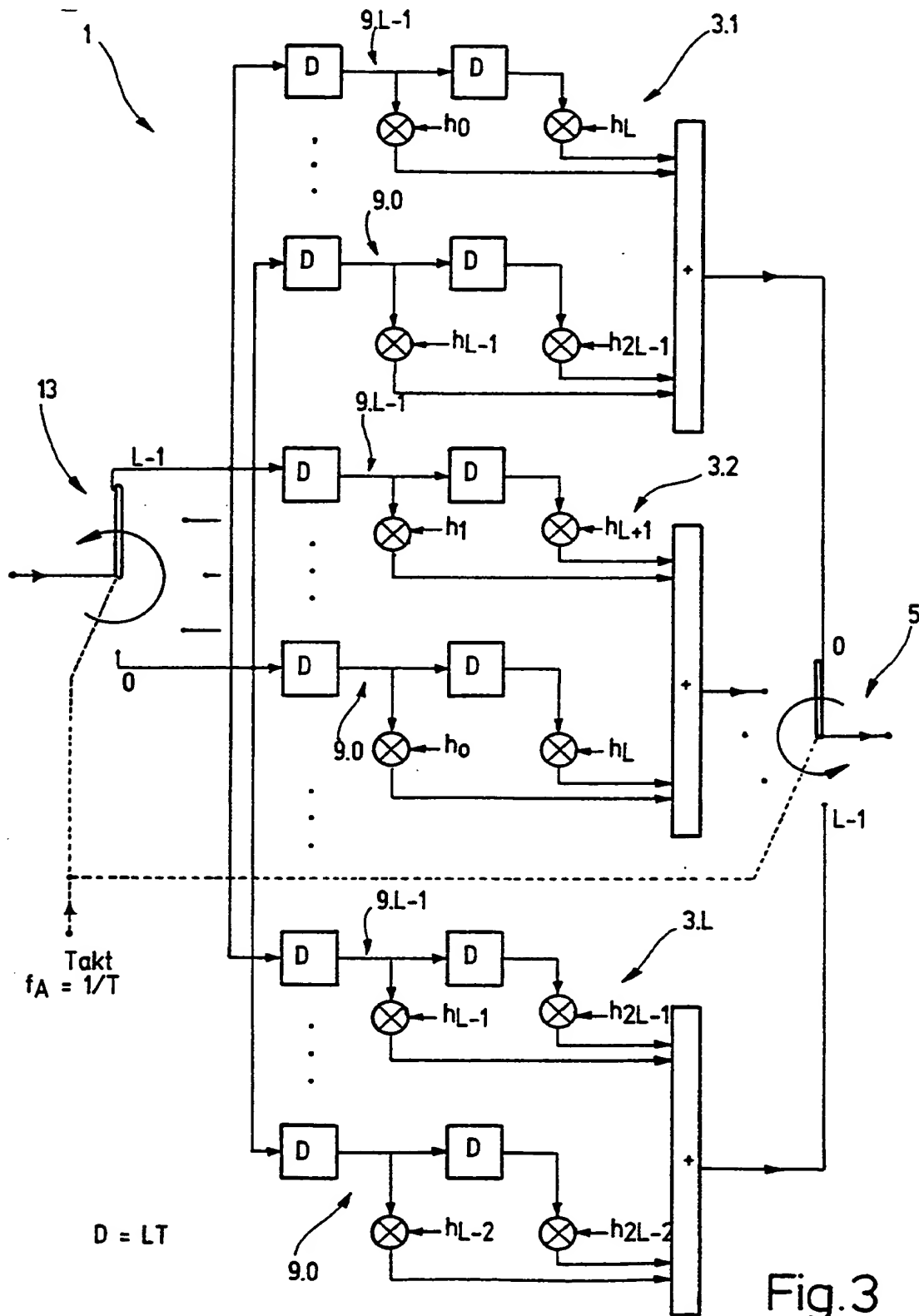


Fig.2





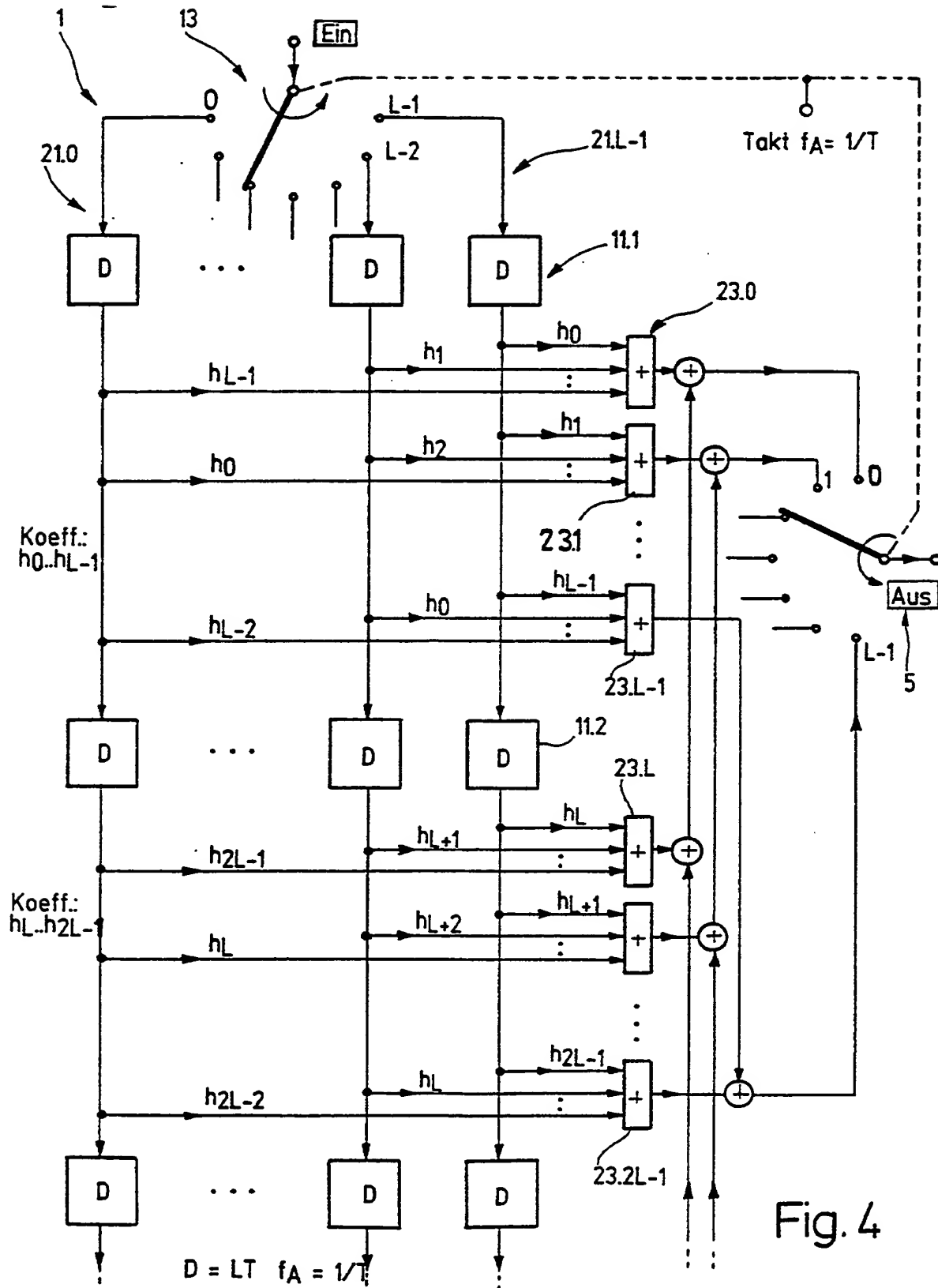


Fig. 4

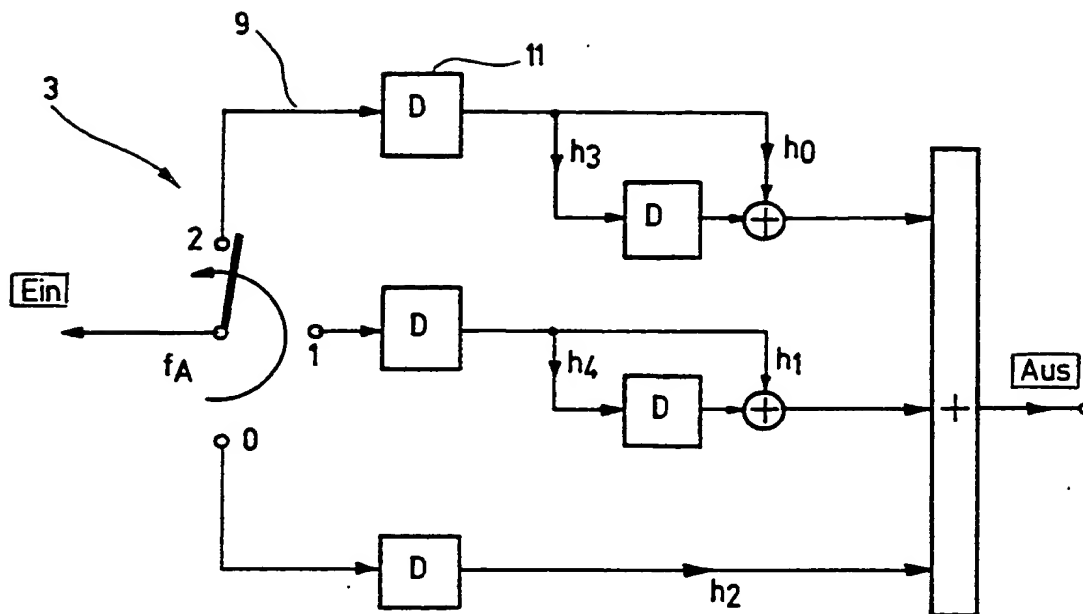


Fig. 6

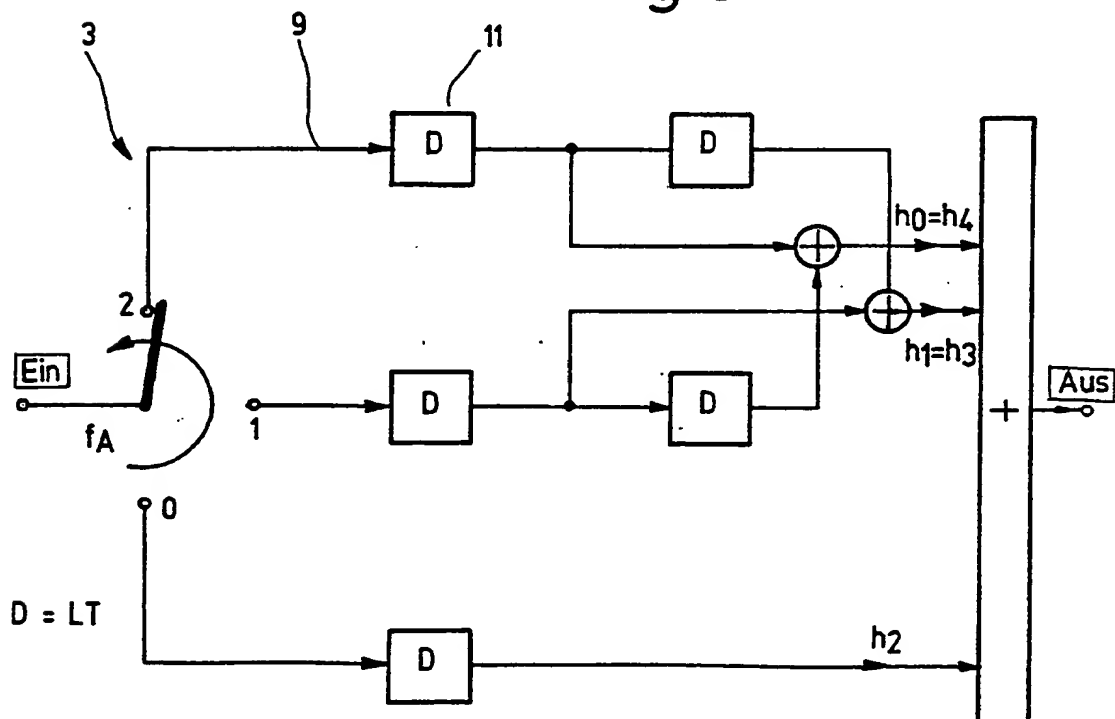


Fig. 5

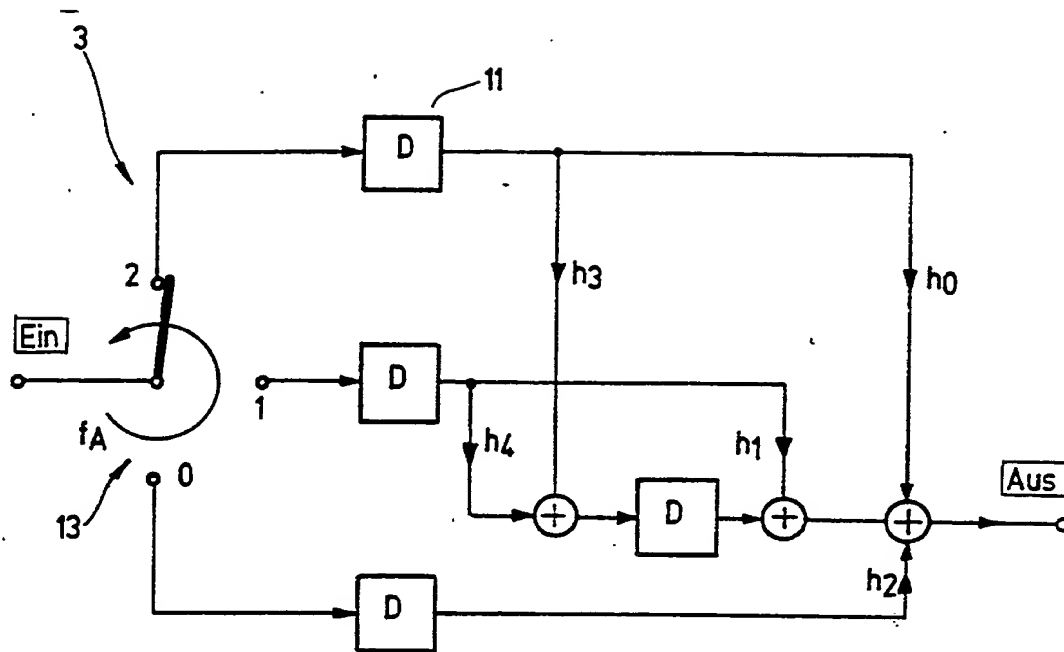


Fig. 7

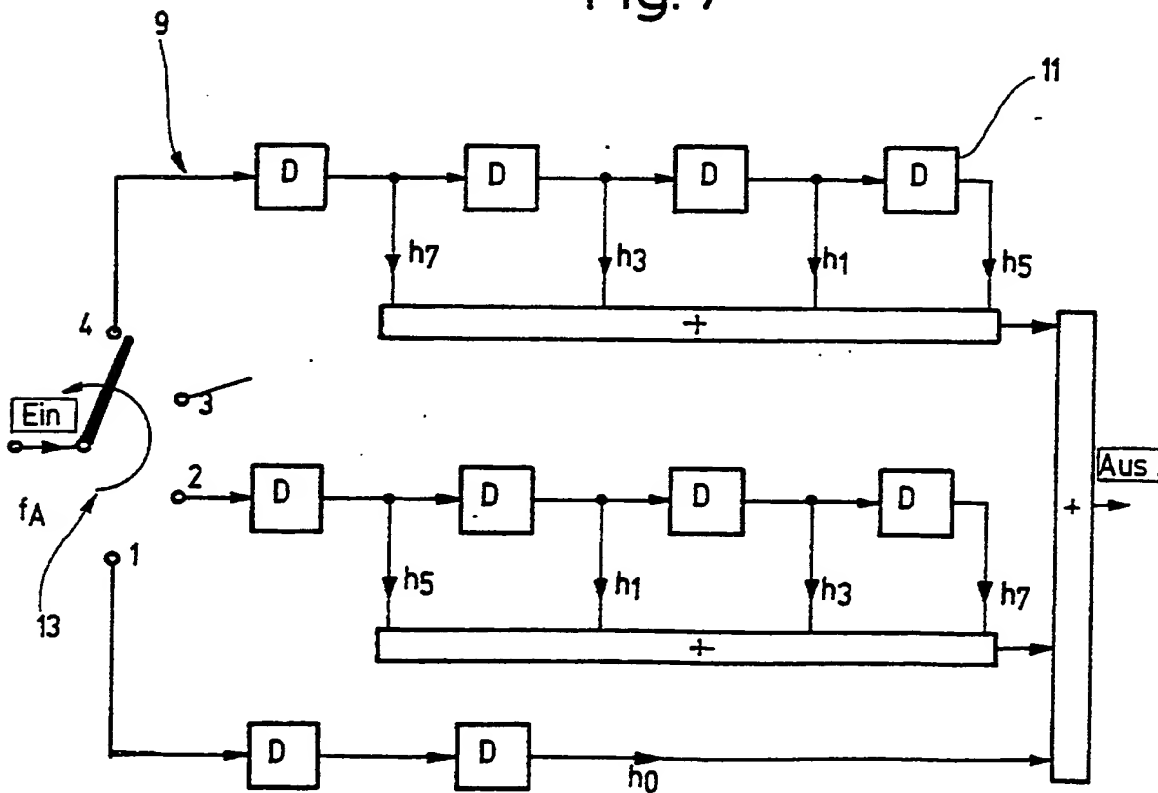


Fig. 8